

Nouvelles pratiques pédagogiques : Développement d'un *serious game* en réalité virtuelle pour la formation au risque chimique en salle blanche

J. Harmel ^a, A. Briens ^a, M. Tlili ^a, R. Tan ^a, J-B. Lincelles ^a, Ph. Seitier ^b, I. Belhaj ^c,
G. Soto-Romero ^e, K. Auffret ^c, et M. Respaud ^{a,d,f}

^a AIME pôle CNFM de Toulouse, INSA de Toulouse, France

^b Institut Clément Ader Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées / UMR CNRS 5312

^c Centre d'Innovation et d'Ingénierie Pédagogiques, INSA Toulouse, France

^d Département de Génie Physique, INSA Toulouse, 135 avenue de Rangueil, 31077
Toulouse, France

^e LAAS-CNRS, Toulouse, France

^f CEMES-CNRS, Université de Toulouse, Toulouse, France

Contact email : jharmel@insa-toulouse.fr , micro.el@aime-toulouse.fr

Cet article présente le projet de développement d'une application en réalité virtuelle pour la formation au risque chimique lors de la manipulation de produits chimiques en salle blanche. L'utilisation de la réalité virtuelle (VR) en enseignement et notamment préalablement aux sessions de travaux pratiques peut permettre d'améliorer l'apprentissage de la gestuelle et de la gestion du risque chimique en amont de leur entrée en salle blanche, en plaçant les étudiants dans un espace virtuel, jumeau numérique de l'espace de travail, simulant les dangers.

I. Objectifs

La technologie de réalité virtuelle est une technique avancée de plus en plus utilisée actuellement dans de nombreux domaines. Dans l'éducation, son utilisation peut améliorer les méthodes d'enseignement et d'apprentissage, en particulier pour aborder et se familiariser avec les pratiques et les espaces à haut potentiel de risque (1-2). C'est dans ce contexte que l'AIME en partenariat avec le Centre d'Innovation et d'Ingénierie Pédagogiques (C2IP) de l'INSA Toulouse s'intéresse à la mise en application de cette nouvelle approche pédagogique. Ce projet vise à intégrer la réalité virtuelle dans l'enseignement et la formation en micro-électronique. Le premier champ d'application concerne les aspects hygiène et sécurité au regard du risque chimique en salle blanche.

L'objectif principal est une mise en situation virtuelle afin d'effectuer une pré-formation et une sensibilisation en amont des manipulations pratiques sur les postes dédiés. Cela aura pour but d'illustrer d'une manière ludique et interactive toutes les règles de sécurité à appliquer, et les risques encourus, cela quel que soit le scénario ou la mauvaise pratique mise en œuvre par les futurs utilisateurs ou étudiants en salle blanche.

L'application déploiera un environnement éducatif virtuel reproduisant la salle blanche dans le cube de réalité virtuelle de *Virtual Concept* vu à travers des lunettes 3D interactives et contrôlé par des contrôleurs de mouvement. Il permettra à l'utilisateur d'effectuer des

manipulations chimiques dans les conditions aussi proches que possible de la réalité sans aucun danger. Cette pré-formation se déroulera dans une modélisation virtuelle de la salle blanche de l'AIME et dans un premier temps, uniquement avec la modélisation d'une hotte à flux laminaire (HFL) de la salle blanche. Sous cette hotte, les utilisateurs auront la possibilité de réaliser toutes les manipulations possibles y compris celles potentiellement dangereuses et d'en visualiser les conséquences directes sans risque.

Les interventions de formation sur le thème Hygiène et Sécurité (HSE) sont d'importance majeure pour tout lieu de travail où des produits chimiques dangereux sont impliqués. Cela est particulièrement vrai pour les salles blanches de micro-électronique en raison de la présence de produits chimiques dangereux et pour certains mortels à faible dose (acide fluorhydrique, acides et bases concentrés, solvants...). Les interventions actuelles de formation à la sécurité sont généralement dispensées à l'aide de méthodes d'enseignement traditionnelles, telles que des cours magistraux, des vidéos et des manuels de sécurité imprimés. Cependant, elles sont considérées comme des méthodes d'enseignement peu engageantes car l'utilisateur doit écouter passivement l'instructeur. En tant que tel, un faible engagement peut conduire à une diminution de l'attention portée au contenu d'apprentissage, rendant ainsi la formation peu efficace. Les résultats d'études montrent que les laboratoires virtuels peuvent être plus efficaces que les méthodes d'enseignement passives (3-5). Cette formation avec mise en condition devrait permettre d'améliorer les compétences de prise de décision sur les problèmes de sécurité. De plus, l'activité d'apprentissage par la pratique ludique et interactive permet d'apprendre de ses erreurs, et les émotions ressenties peuvent rendre l'expérience d'apprentissage plus engageante et plus mémorable.

Notre application de réalité virtuelle aura de nombreux avantages, à savoir de permettre la formation à la sécurité en salle blanche dans une représentation réaliste de l'environnement de travail, en effectuant des tâches avec un haut degré d'interaction, en autorisant tous les scénarii extrêmes de mauvaises pratiques avec des produits chimiques. Cela permettra aussi de pallier au manque d'accessibilité à une salle blanche et de s'affranchir des limites de mobilité des étudiants ayant des mobilités réduites.

Dans le groupement du CNFM, la modélisation des salles blanches du CEMIP-CNFM-Ecole ESIEE Paris ont été réalisées avec une visée de visite virtuelle pour différents publics. Cette modélisation permet une visite intégrale en réalité virtuelle avec un niveau d'interactivité réduit à des actions simples tels que l'ouverture de porte et le déplacement d'objets tels que des microscopes.⁶

Dans une optique complémentaire, nous avons pour but de développer une modélisation d'une partie réduite de notre salle blanche mais avec un niveau élevé d'interactivité et notamment de permettre la manipulation réaliste de plaquettes de silicium et de réactifs chimiques sous une HFL.

II. Méthodologie

La figure 1 détaille la méthodologie choisie pour le développement de l'application de réalité virtuelle. L'application de réalité virtuelle sera développée avec le logiciel Unity et le SDK (*Software Development Kit*) du Cube de réalité virtuelle de Virtuel Concept.⁷

Le Cube de réalité virtuelle se base sur le principe du Cave pour *Cave Automatic Virtual Environment* qui permet une immersion dans un cube recréant une réalité virtuelle à l'aide de 5 projecteurs projetant une image sur les différentes parois du cube (8).

A l'intérieur du Cube, plusieurs personnes peuvent regarder une image simulée à l'aide d'un environnement audio et vidéo 3D haute résolution. Cet environnement simule une image virtuelle 3D qui entoure les utilisateurs. À l'intérieur du Cube, l'utilisateur peut

explorer en réalité virtuelle, sa perception étant immergée dans un environnement virtuel. (Fig.1.)

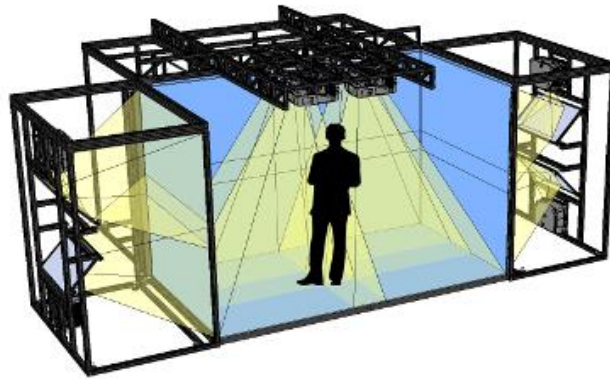


Fig.1. Cube de réalité virtuelle ou Cave pour *Cave Automatic Virtual Environment*. Reproduit de la référence (9).

Dans un premier temps, l'environnement de la salle blanche sera modélisé, ainsi que le matériel de laboratoire spécifique et les équipements de protection individuelle (EPI). Un scanner 3D à lumière structurée pourra être utilisé pour scanner les équipements en salle blanche et ainsi recréer une modélisation réaliste de la salle blanche. Les logiciels *Blender* et *Solidworks* seront utilisés pour retraiter les scans 3D. Un scénario interactif dans lequel l'étudiant pourra réaliser le protocole de formation avec une grande liberté sera développé. L'application sera vue à travers des lunettes 3D actives et les interactions seront contrôlées par des contrôleurs de mouvement.

La modélisation de l'espace de travail, une HFL a été réalisée et retraitée avec *Solidworks*. La figure 2 présente le résultat obtenu après le scan 3D et avant retraitement.

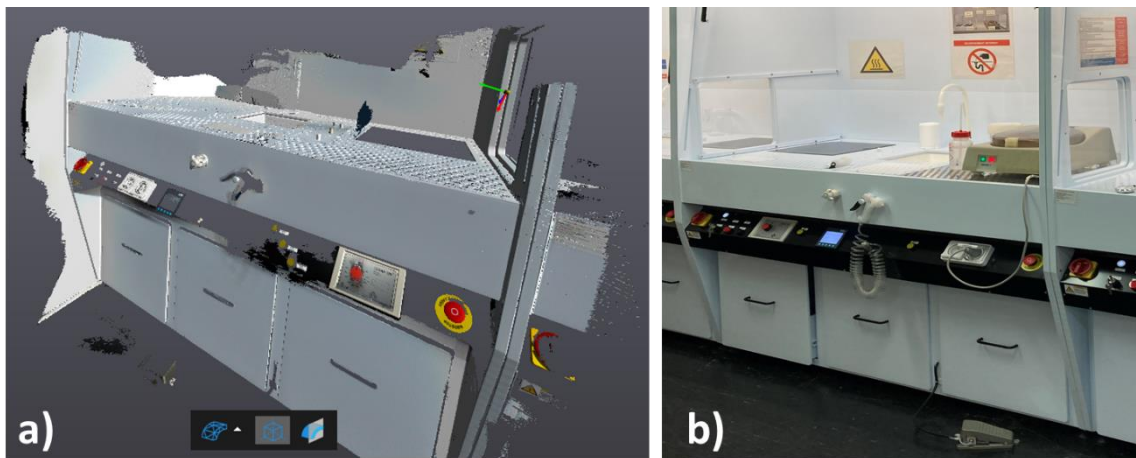


Fig.2. a) Scan 3D de l'espace de travail b) Photographie de l'espace de travail.

La conception expérimentale utilisée est basée sur les manipulations classiques de la micro-électronique. L'environnement et les réactifs chimiques associés seront simulés de manière réaliste aussi proche que possible de l'aménagement à l'AIME. Les étudiants pourront se saisir des bidons, béciers, et autres contenant, mélanger des contenus dans divers récipients, déverser les produits dans les éviers ou les évacuations spécifiques, et en visualiser les conséquences. La modélisation dans le scénario du port des équipements de protection individuelle sera implémentée. Une appréciation finale sur les pratiques

réalisées sera générée. L'objectif final est de sensibiliser le futur utilisateur aux bonnes pratiques et aux règles de sécurité et de le préparer à évoluer dans un espace donné.

Afin de s'affranchir de l'effet de cinétose qui peut survenir lors des déplacements rapides en réalité virtuelle induisant une différence entre un mouvement vu mais non ressenti, le scénario a été conçu en limitant les déplacements de l'utilisateur dans la scène. Les déplacements courts s'effectuent donc par translation et les déplacements plus long par changement de scène - téléportation.

Enfin, nous allons mesurer l'impact de l'utilisation de ces expériences virtuelles sur des étudiants venant manipuler par la suite en salle blanche. Nous évaluerons le résultat d'apprentissage en situation de manipulation réelle et de respect des règles d'hygiène et sécurité. L'application de réalité virtuelle sera testée et évaluée par des étudiants du département de génie physique de l'INSA. Son efficacité et plus particulièrement sa complémentarité avec la formation Hygiène et Sécurité et la pratique en salle blanche sera évaluée par le biais de discussions et de questionnaires. Ces premiers retours d'expérience nourriront notre réflexion pour faire évoluer le contenu et le scénario pédagogique en réalité virtuelle.

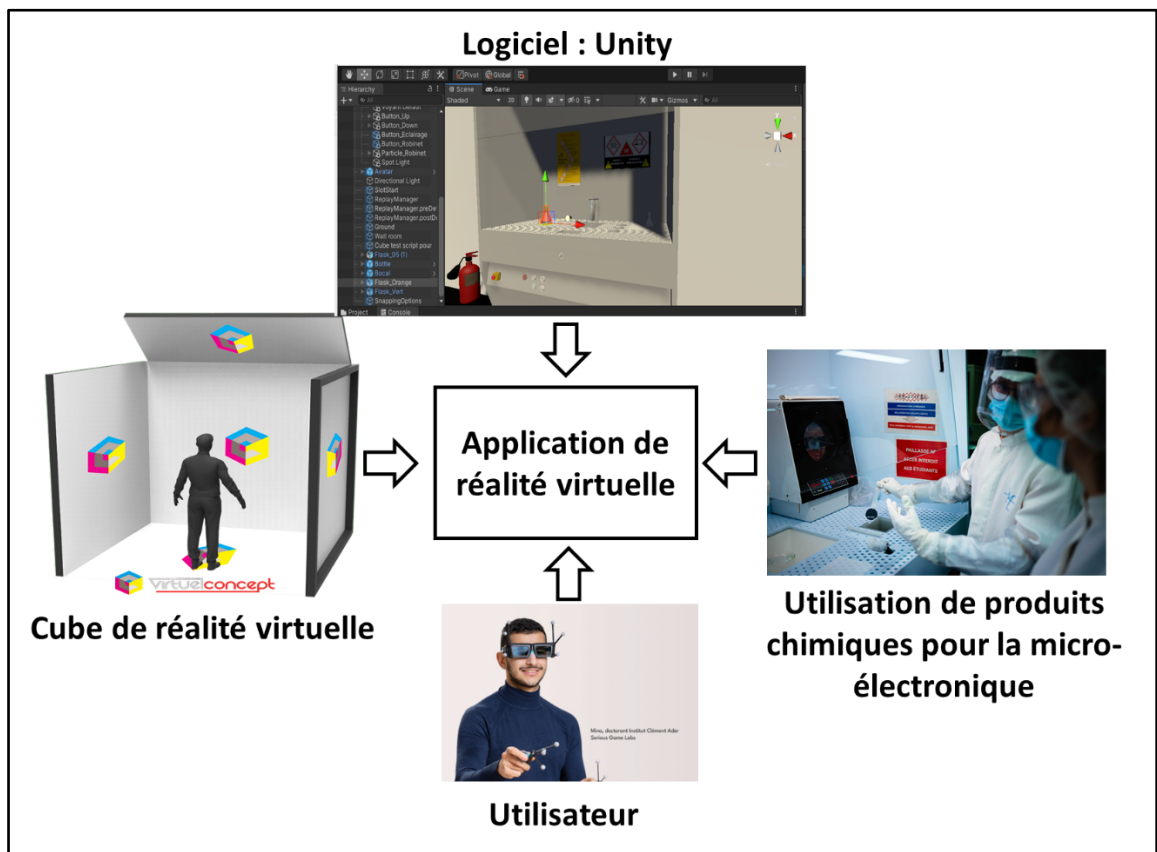


Fig.3. Principe de l'application de réalité virtuelle développé pour le Cube de réalité virtuelle (Crédits photo utilisateur INSA Toulouse) (10).

III. Conclusion

En conclusion, nous avons débuté un projet d'utilisation de la réalité virtuelle à des fins pédagogiques de formation aux risques chimiques. La modélisation de l'espace de travail a été réalisée de même que les premières interactions permettant à l'utilisateur d'interagir avec son milieu. Le scénario a été développé et est en cours de mise en œuvre afin de

réaliser la manipulation de réactifs chimiques dangereux dans le respect des règles de sécurité.

Il s'agit des premiers développements de l'utilisation de la réalité virtuelle pour la formation à l'AIME avec le soutien et la mise à disposition du matériel du Centre d'Innovation et d'Ingénierie Pédagogiques de l'INSA Toulouse.

Remerciements

Les auteurs remercient l'EUR NanoX n°ANR-17-EURE-0009 ainsi que France 2030 et le projet ANR-23-CMAS-0024 INFORISM pour son soutien financier. Ce travail a été réalisé avec le soutien du GIP CNFM.

Références

1. K. Kounlaxay, D. Yao, M.W. Ha, S.K. Kim, Design of virtual reality system for organic chemistry. *Intelligent Automation and Soft Computing* (2022).
2. V. V Kumar, D.Carberry, C.Beenfeldt, M. P.Andersson, S. S.Mansouri, & F. Gallucci. Virtual reality in chemical and biochemical engineering education and training. *Education for Chemical Engineers*, **36**, 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2021.05.002> (2021).
3. P. Chan, T. van Gerven, J.-L. Dubois, & K. Bernaerts (2021). Virtual chemical laboratories: A systematic literature review of research, technologies and instructional design. *Computers and Education Open*, **2**, 100053. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100053> (2021).
4. A. Retnanto, M. Fadlelmula, N. Alyafei; A. Sheharyar, "Active Student Engagement in Learning - Using Virtual Reality Technology to Develop Professional Skills for Petroleum Engineering Education." *Paper presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Calgary, Alberta, Canada*, September 2019. <https://doi.org/10.2118/195922-MS>, (2019).
5. E. Hu-Au, & S. Okita, Exploring Differences in Student Learning and Behavior Between Real-life and Virtual Reality Chemistry Laboratories. *Journal of Science Education and Technology*, **30**(6), 862–876. <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09925-0> (2021).
6. T. Grandpierre, Visite virtuelle des salles blanches ESIEE, *J3eA* **18** 1002, 10.1051/j3ea/20191002 (2019).
7. S. Mukherjee, S. Naregal, S. Aminbhavi, & P. Bisaralli, *BUILDING VIRTUAL SCIENCE LABS USING UNITY 3D*. (2014).
8. H. Creagh, "Cave Automatic Virtual Environment," *Proceedings: Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Technology Conference (Cat. No.03CH37480)*, Indianapolis, IN, USA, 499-504, doi: 10.1109/EICEMC.2003.1247937 (2003).
9. Site web VisBox (<http://www.visbox.com/products/cave/viscube-c4-t4>) visité le 15/03/2024.
10. Site web INSA Toulouse (<https://www.insa-toulouse.fr/recherche/>) visité le 14/11/2023.